

绿色矿山建设中的地质勘察与岩石工程关键技术研究

杜继军

中化地质矿山总局吉林地质勘查院

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8568

[摘要] 在全球倡导可持续发展的大背景下，矿业行业正面临着转型升级的迫切需求，绿色矿山建设应运而生，成为实现矿业可持续发展的重要路径。本文聚焦于绿色矿山建设中的地质勘察与岩石工程关键技术，通过深入剖析激光遥感技术、地球物理勘查技术、三维地质建模技术、地质大数据分析技术、数值模拟分析技术、现场监测技术、锚杆支护技术以及锚索支护技术等关键技术的原理、应用及优势。研究成果表明，这些关键技术能够为绿色矿山建设提供精准的地质信息、有效的岩体稳定性评估以及可靠的支护方案，从而在矿山规划、安全生产以及环境保护等方面发挥重要作用，有力推动绿色矿山建设的进程，促进矿业行业的可持续发展。

[关键词] 绿色矿山；地质勘察；岩石工程；关键技术

Research on Key Technologies of Geological Exploration and Rock Engineering in Green Mine Construction

Du Jijun

Jilin Geological Exploration Institute of China National Chemical Geological and Mining Administration

[Abstract] Against the backdrop of global advocacy for sustainable development, the mining industry is facing an urgent need for transformation and upgrading. The construction of green mines has emerged as an important path to achieve sustainable development in the mining industry. This article focuses on the key technologies of geological exploration and rock engineering in the construction of green mines. Through in-depth analysis of the principles, applications, and advantages of key technologies such as laser remote sensing technology, geophysical exploration technology, 3D geological modeling technology, geological big data analysis technology, numerical simulation analysis technology, on-site monitoring technology, anchor rod support technology, and anchor cable support technology. The research results indicate that these key technologies can provide accurate geological information, effective rock stability assessment, and reliable support schemes for the construction of green mines, thus playing an important role in mine planning, safety production, and environmental protection, effectively promoting the process of green mine construction, and promoting the sustainable development of the mining industry.

[Key words] green mines; Geological survey; Rock engineering; key technology

1. 引言

在全球范围内，可持续发展理念已成为各国经济发展的重要指导原则。矿产资源作为支撑社会发展的重要基础，其开发与利用方式直接关系到生态环境的保护与资源的可持续性。我国自2008年国务院批准《全国矿产资源规划（2008—2015年）》以来，逐步完善了绿色矿山建设的政策体系，并通过一系列文件明确了绿色矿山发展方向。这些政策的出台不仅体现国家对生态保护与资源利用平衡的高度重视，也为矿山行业的绿色转型提供了明确的方向和支持。而地质勘察与岩石工程关键技术是绿色矿山建设的重要支撑，其在保障开采安全、提高资源利用率以及减少环境破坏等方面发挥着不可替代作

用。在绿色矿山建设过程中，水工环勘察工作尤为重要，它能够全面分析矿区地质情况，为后续开采提供科学依据，从而有效降低施工风险并提高找矿效率。然而，当前矿山地质勘察工作中仍存在诸多问题，如重视程度不足、监管机制不完善以及技术手段单一等，这些问题不仅影响勘察结果准确性，也制约绿色矿山建设的高效推进。因此，深入研究地质勘察与岩石工程关键技术的作用机制及其在绿色矿山中的应用策略，对于解决上述问题具有重要意义。

1. 绿色矿山建设中的地质勘察关键技术

1.1 先进勘探手段

1.1.1 激光遥感技术

激光遥感技术作为一种先进的地质勘察工具，其核心原理是利用激光束对目标区域进行高精度扫描，通过测量反射回来的激光信号获取地表及地下结构信息。该技术能够以非接触方式快速获取大面积的地形数据和地质特征，从而显著提升勘探精度。此外，相较于传统勘探方法，激光遥感技术对环境的影响极小，无需大规模地面作业即可完成数据采集任务，有效避免了土地压实、水资源污染等生态问题。在绿色矿山建设中，这一技术的应用不仅能够满足高精度地质勘察的需求，还能最大限度地减少对生态环境的干扰，为实现可持续发展目标提供了重要技术支持。

1.1.2 地球物理勘查技术

地球物理勘查技术包括地震勘探、电法勘探等多种方法，其主要通过检测地球物理场的变化来推断地下地质结构特征。例如，地震勘探通过人工激发地震波并接收其反射信号，可以清晰揭示地下岩层的分布情况；而电法勘探则利用不同岩石导电性的差异，对复杂地质条件进行分层分析。这些技术在适应复杂地质条件方面表现出显著优势，尤其是在深部矿产资源勘探中，能够有效识别断层、破碎带等隐蔽地质构造，为矿山规划提供可靠依据。同时，地球物理勘查技术具有非侵入性特点，能够减少对地表生态系统的破坏，符合绿色矿山建设的要求。

1.2 精准地质建模技术

1.2.1 三维地质建模

三维地质建模是一种基于多源数据融合的技术手段，其核心在于将地质、地球物理、钻探等多元信息整合到统一的三维空间中，构建高精度的地下地质模型。具体而言，该技术通过引入激光扫描、遥感影像以及钻孔数据等多源信息，结合地质统计学方法和计算机图形学技术，生成直观且精确的地质体模型。这种模型不仅能够直观展示矿区的地质结构特征，还可以为矿山规划与开采设计提供重要参考。例如，在矿山初期规划阶段，三维地质模型可以帮助工程师优化开采方案，减少资源浪费；在后期生产中，模型可用于评估矿体变化趋势，从而指导动态调整开采策略，提高资源利用率。

1.2.2 地质大数据分析

地质大数据分析是指通过对海量地质数据的深度挖掘与处理，提取其中有价值的信息以支持决策制定。在绿色矿山建设中，地质大数据分析技术的应用主要体现在两个方面：一是通过整合历史勘查数据、实时监测数据以及外部环境因素数据，构建全面的地质信息数据库；二是利用机器学习算法对数据库中的信息进行模式识别与预测分析，从而提升地质模型的精准度。例如，通过对多年积累的水文地质数据进行分析，可以准确预测矿区水位变化规律，为水资源管理提供科学依据。此外，地质大数据分析还能帮助发现潜在的环境风险因素，为制定针对性的环境保护措施奠定基础，从而推动绿色矿山的可持续发展。

2. 绿色矿山建设中的岩石工程关键技术

2.1 岩体稳定性分析技术

2.1.1 数值模拟分析

数值模拟技术在岩体稳定性分析中具有重要作用，其通过建立数学模型对复杂的岩石力学行为进行仿真和预测。以FLAC3D为代表的数值模拟软件广泛应用于矿山工程中，该软件基于有限差分法，能够模拟岩体在受力条件下的变形、破坏过程及应力分布特征。数值模拟的优势在于其能够对复杂地质条件进行精细化建模，例如考虑断层、节理等不连续面对岩体稳定性的影响，同时可以动态展示岩体在不同开采阶段的应力演化规律。然而，数值模拟也存在一定的局限性，例如模型参数的选取高度依赖于现场测试数据，若参数不准确可能导致模拟结果失真；此外，复杂模型的建立需要较高的计算资源和时间成本，这在一定程度上限制了其实际应用范围。因此，在应用数值模拟技术时，需结合现场监测数据进行校准，以提高模拟结果的可靠性。

2.1.2 现场监测技术

现场监测技术是岩体稳定性实时评估的重要手段，通过对岩体的位移、应力、应变等关键指标进行连续监测，能够及时掌握岩体的动态变化特征。位移监测通常采用全球定位系统（GPS）或光纤传感器等技术，可精确测量岩体表面的三维位移量，从而判断岩体是否处于稳定状态。应力监测则通过埋设应力计或应变片等方式，获取岩体内部的应力分布情况，为岩体稳定性评价提供直接依据。此外，微震监测技术作为一种新兴手段，能够捕捉岩体内部微破裂事件的发生位置和频率，进而预测潜在的大规模失稳风险。现场监测技术的优势在于其数据具有实时性和直观性，能够为矿山安全生产提供重要保障。然而，监测设备的布设和维护成本较高，且监测数据的解读需要专业知识和经验，这对技术人员提出了较高要求。

2.2 岩体加固技术

2.2.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是一种广泛应用于矿山工程中的主动支护方式，其原理是通过在岩体中钻孔并安装锚杆，将不稳定的岩块与深部稳定岩体连接在一起，从而增强岩体的整体稳定性。锚杆支护技术适用于多种岩体条件，特别是在节理发育或破碎带区域表现出良好的支护效果。在实际应用中，锚杆的长度、直径及安装角度需根据具体地质条件进行优化设计，以确保其支护效果最大化。例如，在软弱岩体中，通常采用全长粘结型锚杆以提高锚固力；而在硬岩中，则可选择端锚型锚杆以降低成本。此外，随着新材料和新技术的发展，锚杆支护技术不断得到改进，例如使用高强度钢材或纤维增强复合材料制造锚杆，以提升其承载能力和耐久性。未来研究应进一步探索锚杆支护与其他支护方式的协同作用，以实现更高效的支护效果。

2.2.2 锚索支护技术

锚索支护技术是一种适用于深部矿山的高强度支护方式，其特点是通过施加预紧力，将深部稳定岩体与浅部不稳定岩体紧密结合，从而有效控制岩体的变形和失稳。锚索支护技术在深部矿山中具有显著优势，尤其是在高应力条件下，其能够提供更大的支护力并适应较大的岩体变形。在实际应用中，锚索的设计需综合考虑岩体的力学特性、开采深度及地应力分布等

因素。例如,在软岩巷道中,通常采用长锚索结合短锚杆的综合支护方案,以增强支护系统的整体稳定性。此外,锚索支护技术的施工精度要求较高,尤其是在钻孔方向和深度控制方面,需严格遵循设计规范以确保支护效果。未来研究应重点关注锚索支护技术在复杂地质条件下的适应性,并开发更加高效、经济的施工方法,以满足绿色矿山建设的需求。

2.2.2 注浆加固技术

注浆加固技术通过将浆液注入岩体裂隙和孔隙中,填充空隙并固化后形成高强度的胶结体,从而提高岩体的整体性和力学性能。其基本原理是利用浆液在压力作用下的流动性,使其渗透到岩体的细微裂隙中,并在一定时间内凝固,从而增强岩体的抗压强度和抗剪强度。常用的注浆材料包括水泥浆、化学浆液(如聚氨酯、环氧树脂)以及改性水玻璃等,这些材料具有不同的物理化学特性,可根据具体工程需求进行选择。

在矿山开采中,注浆加固技术广泛应用于处理破碎岩体、防止地下水渗漏以及控制地表沉降等问题,对绿色矿山建设具有重要意义。例如,在开采过程中遇到断层带或节理密集区时,注浆加固可以有效改善岩体的完整性,减少巷道掘进过程中的冒顶和片帮事故,从而提高开采安全性。同时,注浆技术还可用于封堵地下水通道,防止因采矿活动引发的水资源污染和流失问题。这不仅有助于保护矿区周边的水生态环境,还能降低因地下水渗漏导致的生产风险。此外,注浆加固技术在矿山闭坑后的环境恢复治理中同样发挥着重要作用。通过对废弃矿井进行注浆封堵,可以有效控制地表沉降和地质灾害的发生,为矿区的生态修复提供技术支持。因此,注浆加固技术不仅是保障矿山安全生产的重要手段,也是实现绿色矿山可持续发展目标的关键技术之一。

3. 关键技术应用挑战与应对策略

3.1 复杂地质条件挑战

复杂地质条件对绿色矿山建设中的地质勘察与岩石工程技术提出了严峻挑战。例如,断层、破碎带等地质构造不仅影响地质勘察的精度,还可能导致岩体稳定性分析出现偏差,从而威胁矿山安全生产。在地质勘察过程中,传统的勘探手段难以穿透复杂的地质结构,导致数据获取不全面或准确性不足。此外,复杂地质条件下的地下水系统往往具有高度异质性,其流动规律难以预测,进一步增加了水文地质勘察的难度。为应对这些挑战,可采用多源数据融合技术,结合激光遥感、地球物理勘察等多种手段,以提高地质模型的精度和可靠性。同时,引入智能化算法优化数值模拟分析,能够更准确地评估复杂地质条件下岩体的稳定性,为矿山规划和开采设计提供科学依据。

3.2 成本控制挑战

关键技术在地质勘察与岩石工程中的应用面临显著的成本控制挑战。一方面,先进设备的购置和维护费用高昂,例如高精度的激光遥感设备和地球物理勘探仪器,这对矿山企业的资金实力提出了较高要求。另一方面,技术研发和创新需要持续投入大量资源,包括人力、物力和时间成本,这在一定程度

上限制了关键技术的广泛应用。此外,复杂地质条件下的技术实施通常需要更多的专业人员和更长的工作周期,进一步增加了总体成本。为有效控制成本,矿山企业可通过设备共享、技术合作等方式降低初期投入,同时优化技术方案以减少不必要的资源浪费。此外,政府和行业组织应加大对绿色矿山建设关键技术的支持力度,通过政策补贴和技术扶持帮助企业缓解资金压力。

3.3 技术协同挑战

地质勘察与岩石工程关键技术与其他绿色矿山建设环节之间存在显著的协同难点。例如,在环境保护方面,地质勘察所得的数据需要与生态修复方案紧密结合,但实际操作中常因信息传递不畅或技术接口不匹配而导致协同效率低下。在资源综合利用方面,岩石工程技术的应用需充分考虑矿石开采与伴生资源回收的协调性,然而现有技术体系往往缺乏整体性规划,难以实现资源利用最大化。为解决这些问题,建议建立统一的技术标准和数据共享平台,促进不同环节之间的信息互通和技术整合。同时,加强跨学科团队合作,将地质勘察、岩石工程与环境保护、资源综合利用等领域有机结合,形成系统化的技术解决方案,从而推动绿色矿山建设的高效实施。

4. 结论

(1) 本研究系统分析绿色矿山建设中地质勘察与岩石工程的关键技术,揭示了其在推动矿业可持续发展中的重要作用。先进勘探手段、数值模拟分析、锚杆支护等关键技术的集成应用不仅提高了矿山资源开发效率,还为环境保护与生态修复奠定了基础,充分体现了绿色矿山建设的技术创新价值。

(2) 地质勘察与岩石工程关键技术绿色矿山建设中具有不可替代的支撑作用,这些技术的应用不仅满足了当前矿业行业转型升级的需求,也为未来矿山的智能化与数字化发展提供了重要参考。

(3) 随着智能化与数字化技术的快速发展,绿色矿山建设将迎来新的机遇。人工智能、物联网与区块链等新兴技术的应用有望进一步提升地质勘察与岩石工程的效率与精度,未来研究应重点关注智能化与数字化技术在地质勘察与岩石工程中的深度融合,探索更多创新性解决方案,以应对绿色矿山建设中的新挑战。

[参考文献]

- [1]谭志勤;侯剑辉.探讨绿色矿山地质勘察综合技术的改进策略[J].冶金与材料,2024,44(3):159-161.
- [2]雷洁力;胥虹.环保新形势下矿山地质勘察的优化策略研究[J].中国金属通报,2023,(1):98-100.
- [3]李松.绿色勘察技术在矿山地质钻探施工中运用研究[J].中国金属通报,2023,(17):82-84.
- [4]黄兵.绿色矿山背景下综合勘察技术在岩土工程中的应用[J].中国金属通报,2022,(21):237-239.
- [5]狄慧江.基于地质工程技术的矿山环境保护与恢复策略[J].中国金属通报,2024,(1):216-218.